

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 475 798

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 03153

-
- (54) Procédé et dispositif de production d'ions lourds fortement chargés et une application mettant en œuvre le procédé.
- (51) Classification internationale (Int. Cl.³). H 01 J 27/18; H 05 H 7/00.
- (22) Date de dépôt..... 13 février 1980.
- (33) (32) (31) Priorité revendiquée :
- (41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 33 du 14-8-1981.
-
- (71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, résidant en France.
- (72) Invention de : Richard Geller et Bernard Jacquot.
- (73) Titulaire : *Idem* (71)
- (74) Mandataire : Brevatome,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.
-

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

La présente invention concerne un procédé de production d'ions lourds fortement chargés et un dispositif ainsi qu'une application mettant en oeuvre ce procédé.

5 De façon plus précise, l'invention a pour objet un procédé et un dispositif permettant de créer et de produire, à partir d'atomes lourds, c'est-à-dire comprenant plus de deux électrons, des ions lourds fortement chargés, c'est-à-dire
10 des atomes ayant perdu tous leurs électrons y compris ceux des couches profondes. Ces atomes peuvent être neutres ou préionisés. Les ions fortement chargés sont utilisés pour la mesure de constantes physiques et sont surtout destinés à équiper des accélérateurs
15 de particules, utilisés aussi bien dans le domaine scientifique que médical.

On sait que l'obtention d'ions peut se faire à partir d'un gaz ou de vapeur métallique, contenant des atomes neutres, qu'on ionise par impacts
20 d'électrons ionisants.

Bien entendu, il existe un certain nombre de procédés et de dispositifs, ou sources, permettant d'obtenir des ions comme, par exemple, des sources à arc, des sources à confinement, des sources à
25 résonance cyclotronique électronique, etc...

La quantité d'ions pouvant être produite par ces différentes sources résulte de la compétition entre deux processus. :

- la formation de ces ions par ionisation, dans
30 les couches électroniques successives, de l'atome neutre ;
- la destruction de ces mêmes ions par recombinaison, simples ou multiples, lors d'une collision avec un atome neutre. Cet atome neutre provient du
35 gaz non encore ionisé, ou est produit sur les

parois du dispositif, lors de l'impact d'une particule électrisée sur lesdites parois.

Le problème est donc d'éviter la destruction de ces ions, en évitant toute collision avec un atome neutre.

5 Bien entendu, la quantité d'atomes neutres peut être réduite, en effectuant dans ces sources un vide poussé, à l'aide de pompes classiques, mais ceci ne permet pas la disparition totale de ces atomes neutres.

De plus, les particules issues de ces sources
10 ne sont pas ionisées à 100%, c'est-à-dire que les atomes n'ont pas perdu tous leurs électrons. Pour continuer l'ionisation de ces atomes, les ions sont envoyés sur une feuille mince (de quelques microns d'épaisseur) après avoir été accélérés ou bien sur une cible constituée par un
15 plasma d'électrons. Ces différents procédés permettant d'obtenir des ions fortement chargés sont plus ou moins complexes et coûteux.

La présente invention a donc pour objet un procédé et un dispositif de production d'ions fortement chargés,
20 permettant de remédier à ces inconvénients et, notamment, de permettre une ionisation quasi totale et ce de façon simple des atomes neutres, apportés par le gaz à ioniser ainsi que des atomes neutres restants, même après la réalisation d'un vide poussé.

25 De plus, l'invention a pour objet une application mettant en oeuvre ce procédé.

Selon l'invention, le procédé de production d'ions fortement chargés permettant d'ioniser un gaz d'atomes neutres par impact d'électrons, le
30 gaz étant introduit dans une cavité hyperfréquence, excitée par au moins un champ électromagnétique de haute fréquence qui est associé à un champ magnétique dont l'amplitude est choisie de façon que la fréquence cyclotronique électronique, associée

audit champ magnétique, soit égale à la fréquence
du champ électromagnétique établi dans la cavité,
celle-ci étant munie d'une ouverture permettant
l'extraction des ions au moyen d'électrodes appro-
priées, se caractérise en ce que ledit champ magné-
tique est constitué par la superposition d'un champ
magnétique radial multipolaire, présentant une ampli-
tude minimum dans la partie centrale de la cavité,
et d'un champ magnétique axial à symétrie de révo-
lution, présentant un gradient suivant ledit axe,
le champ magnétique résultant étant réglé de façon
qu'il existe dans la cavité au moins une nappe
magnétique complètement fermée et n'ayant aucun contact
avec les parois de la cavité, nappe sur laquelle la
condition de résonance cyclotronique électronique est
satisfaite de manière à obtenir une ionisation du gaz la
traversant ; les ions formés sont ensuite extraits par
l'ouverture d'extraction, placée au voisinage de la
nappe la plus extérieure, à l'aide d'électrodes
d'extraction n'ayant aucun contact avec ladite nappe,
puis sélectionnés par des moyens appropriés.

L'association, dans une cavité hyperfré-
quence, d'un champ électromagnétique de haute fré-
quence à un champ magnétique axial dont l'amplitude
est choisie de façon que la fréquence cyclotronique
électronique, associée à ce champ soit égale à la
fréquence du champ électromagnétique, permet une
forte ionisation des atomes neutres. En effet, les
électrons émis sont fortement accélérés du fait
de la résonance cyclotronique électronique. Pour
de plus amples détails sur la résonance cyclotronique
électronique on peut se référer à la demande de
brevet n° 71 27812, déposée le 29 juillet 1971 par
le Commissariat à l'Energie Atomique et intitulé
"Sources d'ions utilisant une cavité hyperfréquence".

La superposition d'un champ magnétique radial multipolaire, présentant une amplitude minimum dans la partie centrale de la cavité hyperfréquence au champ magnétique axial, permet le confinement des ions formés dès leur entrée dans la nappe magnétique et abaissant de ce fait la densité d'atomes neutres dans la région de confinement, ainsi que des électrons, c'est-à-dire permet de ramener les ions et les électrons, sortis de cette nappe à la suite d'impact avec un atome neutre ou déjà ionisé, sur ladite nappe. Grâce à ce confinement, les électrons ont le temps de bombarder plusieurs fois un même ion et de l'ioniser totalement. Pour récupérer l'énergie perdue dans les ionisations successives d'un atome, l'électron doit repasser par la nappe résonnante qui ne doit pas être interrompue. Cette nappe résonnante empêche les atomes neutres de pénétrer au centre de cette dite nappe. Pour cette raison, l'extraction des ions multichargés peut se faire au voisinage de cette nappe qui constitue une surface de pompage ionique in situ.

De plus, le fait que le nombre d'atomes neutres, présents à l'intérieur de la nappe soit très faible, permet de diminuer considérablement les effets de recombinaisons, par échange de charge entre un atome neutre et un atome fortement ionisé, et permet de maintenir des états de charges élevées pour les ions.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le dispositif permettant la mise en oeuvre du procédé comprend au moins une source de gaz, une cavité hyperfréquence reliée à des pompes à vide et munie d'une ouverture permettant l'extraction des ions, des moyens de production du champ magnétique axial et des moyens de production du champ magnétique radial répartis sur toute la surface de la cavité, des moyens d'introduction du champ électromagnétique dans la cavité multimode, des électrodes d'extraction du gaz ionisé et des moyens de sélection des ions.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux à l'aide de la description qui va suivre, donnée à titre purement illustratif et non limitatif, en référence aux figures annexées dans lesquelles :

5 - la figure 1 représente schématiquement le dispositif permettant la mise en oeuvre du procédé selon l'invention,

10 - la figure 2 représente schématiquement une partie du dispositif de la figure 1.

Sur la figure 1, deux sources non représentées permettent d'envoyer du gaz ionisable, pré-ionisé ou non, dans des conduits 2 et 4 qui aboutissent dans une enceinte de confinement 6 qui
15 constitue une cavité oscillante dans un mode discret ou un multimode d'ordre élevé, c'est-à-dire de dimension grande par rapport à la dimension de la longueur d'onde du champ électromagnétique. Ce champ électromagnétique est introduit par des guides d'ondes
20 tels que 8 et 10, pouvant avoir une section circulaire ou rectangulaire.

La cavité 6, qui peut être de forme quelconque, est réunie au moyen d'une canalisation 12 à une pompe à vide, non représentée et de type connu
25 (pompe à diffusion, pompe turbomoléculaire, pompe cryogénique, etc...), permettant de créer un vide poussé et permettant l'extraction en continu des ions. Les conduits 2 et 4 ainsi que la cavité 6 sont entourés par des paires de bobines axiales
30 telles que 14 et 16 pouvant produire le champ magnétique axial qui, se superposant au champ électromagnétique de haute fréquence, permet la résonance cyclotronique électronique.

Le confinement des électrons et des ions se fait à l'aide d'un champ magnétique radial multipolaire, présentant une amplitude nulle au centre
35

de la cavité que l'on peut créer à l'aide de barres cylindriques 18, disposées parallèlement les unes aux autres. Ces barres 18 peuvent être dans un état supraconducteur. Elles sont alors disposées dans des tubes protecteurs cylindriques véhiculant le liquide réfrigérant à une température suffisamment basse pour que le liquide soit intégré, éventuellement, dans un système de pompage cryogénique par condensation ou par vapeur de titane. Une partie de ces barres 18 traversent la cavité multimode 6.

Bien entendu, tout autre moyen d'obtention des champs magnétiques peut être envisagé et en particulier l'utilisation d'aimants permanents. Dans le cas du champ magnétique radial, les aimants peuvent être disposés dans des tubes protecteurs cylindriques, plongés dans le vide, ou être disposés à l'extérieur de la cavité 6.

La figure 2 représente schématiquement la partie interne du dispositif, et en particulier la cavité hyperfréquence 6. Cette cavité est munie d'une ouverture 20 par laquelle peuvent être extraits les ions formés. L'extraction des ions de la cavité 6 peut se faire à l'aide d'électrodes 22 entre lesquelles est créée une différence de potentiel négative à l'aide d'une source d'alimentation 24. Les ions ainsi extraits de la cavité 6 sont sélectionnés suivant leur degré d'ionisation à l'aide de tout moyen connu utilisant un champ électrique et/ou un champ magnétique. Sur ce schéma ont été représentées deux nappes résonantes 26 et 28 complètement fermées et n'ayant aucun contact avec la cavité 6.

Dans le cas d'un seul champ électromagnétique injecté par les guides d'ondes 8 et 10, la nappe interne 26 correspond à la nappe résonnante

telle que la fréquence cyclotronique électronique est égale à la fréquence du champ électromagnétique, la nappe externe 28 correspond à une nappe résonnant sur une harmonique, par exemple, la fréquence cyclotronique électronique est égale à deux fois la fréquence du champ électromagnétique.

Dans le cas de deux champs électromagnétiques de fréquence différente, la nappe résonnante interne 26 est associée au champ électromagnétique possédant la fréquence la plus basse, la nappe résonnante externe 28 est associée au champ électromagnétique possédant la fréquence la plus haute.

Dans le cas de deux nappes, la nappe interne sert essentiellement à l'ionisation poussée du gaz, la nappe externe sert à préserver l'état d'ionisation des ions que l'on extrait au niveau de cette deuxième nappe. Dans le cas d'une seule nappe résonnante, l'ionisation et l'extraction se font au niveau de ladite nappe.

Le fait de placer l'ouverture d'extraction au voisinage de la nappe, mais sans qu'il y ait contact entre la nappe et l'ouverture, permet de réduire au maximum le parcours des ions et donc de diminuer les possibilités de recombinaison avec un ou plusieurs électrons, qui ont perdu leur énergie lors d'une rencontre précédente avec un atome du gaz à ioniser ou avec un atome neutre résiduel. On limite la présence d'atomes neutres en créant dans l'enceinte un vide poussé (inférieur à 10^{-5} torr). Le fait que la nappe ne soit pas en contact avec la paroi interne de la cavité ou tout autre paroi (électrode d'extraction) permet d'éviter toute possibilité de recombinaison d'un atome neutre, par impact d'un ion sur ladite paroi, ainsi que la perte d'ions et d'électrons confinés.

Les nappes résonnantes ont été représentées de forme ovale, mais bien entendu, la forme de ces nappes est déterminée par la forme des conducteurs créant les champs magnétiques.

Ce dispositif permet l'obtention de faisceaux d'ions lourds fortement chargés, c'est-à-dire des atomes ayant perdu plusieurs ou tous leurs électrons. Pour cela, la puissance haute fréquence transportée par le champ électromagnétique doit être suffisante. Pour une cavité de 1 litre, une puissance haute fréquence supérieure à 1 kilowatt est nécessaire pour maintenir les atomes sous un fort état d'ionisation ainsi que pour l'extraction de ces ions. Pour des cavités de dimensions importantes, la puissance nécessaire pour l'ionisation et l'extraction des ions peut être apportée par un champ électromagnétique injecté dans la cavité au moyen de plusieurs guides d'onde ou par plusieurs champs électromagnétiques. Il est à noter que les guides d'ondes permettant l'injection du champ électromagnétique sont munis de fenêtres diélectriques étanches au gaz, mais transparentes à la puissance électromagnétique.

Ce dispositif permet d'obtenir en particulier des faisceaux d'ions fortement chargés de gaz rare comme, par exemple, des faisceaux d'ions Ne^{+10} , Ar^{+13} , Xe^{+33} , mais aussi des ions C^{6+} , N^{7+} , etc...

On va maintenant donner un exemple de réalisation du procédé.

Pour un champ axial compris entre 3000 et 5000 gauss et un champ radial variant de 0 à 5000 gauss on choisit une fréquence comprise entre 10 et 14 gigahertz en ce qui concerne le champ électromagnétique.

REVENDICATIONS

1. Procédé de production d'ions fortement chargés, permettant d'ioniser un gaz d'atomes neutres par impacts d'électrons, le gaz étant introduit dans une cavité hyperfréquence (6) excitée par au moins un champ électromagnétique de haute fréquence qui est associé à un champ magnétique dont l'amplitude est choisie de façon que la fréquence cyclotronique électronique associée audit champ magnétique soit égale à la fréquence du champ électromagnétique établi dans la cavité (6), celle-ci étant munie d'une ouverture (20) permettant l'extraction des ions au moyen d'électrodes (22) appropriées, caractérisé en ce que ledit champ magnétique est constitué par la superposition d'un champ magnétique radial multipolaire, présentant une amplitude minimum dans la partie centrale de la cavité, et d'un champ magnétique axial à symétrie de révolution, présentant un gradient suivant ledit axe, le champ magnétique résultant étant réglé de façon qu'il existe dans la cavité (6) au moins une nappe magnétique complètement fermée (26 et 28) et n'ayant aucun contact avec les parois de la cavité, nappe sur laquelle la condition de résonance cyclotronique électronique est satisfaite de manière à obtenir une ionisation du gaz la traversant ; les ions formés sont ensuite extraits par l'ouverture d'extraction (20) placée au voisinage de la nappe (28) la plus extérieure à l'aide d'électrodes d'extraction (22) n'ayant aucun contact avec ladite nappe, puis sélectionnés par des moyens appropriés.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le champ électromagnétique possède une puissance rapportée à l'unité de volume de la cavité hyperfréquence (6), supérieure à un kilowatt par litre.

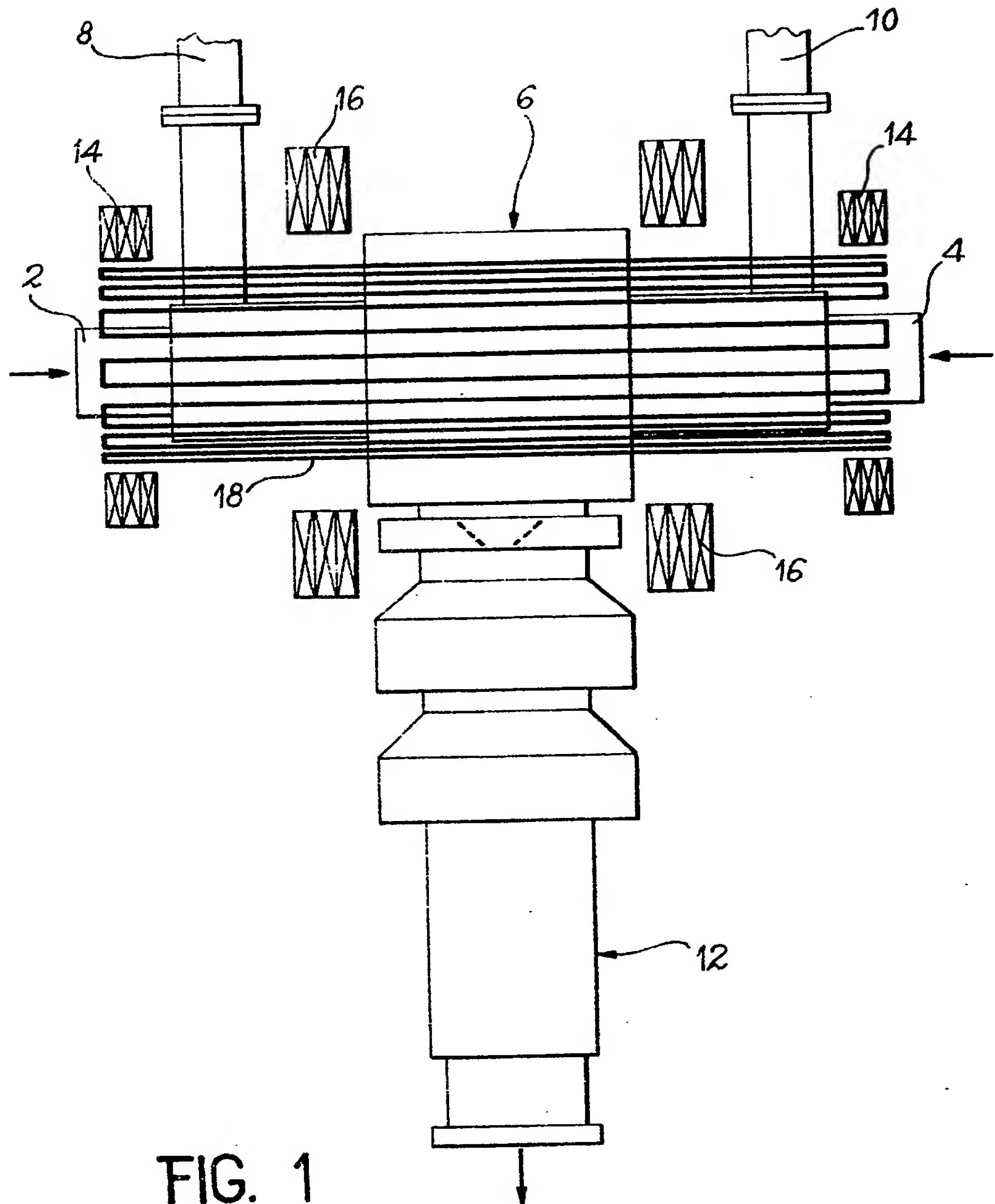
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'un au moins des champs magnétiques axial et radial est continu.

5 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'un au moins des champs magnétiques axial et radial est pulsé.

10 5. Dispositif permettant la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une source de gaz, une cavité hyperfréquence (6) reliée à des pompes à vide et munie d'une ouverture (20) permettant l'extraction des ions, des moyens
15 de production du champ magnétique axial (14 et 16) et des moyens de production du champ magnétique radial (18) répartis sur toute la surface de la cavité (6), des moyens d'introduction du champ électromagnétique (8 et 10) dans la cavité multimode
20 (6) des électrodes d'extraction (22) du gaz ionisé et des moyens de sélection des ions.

6. Application selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, à l'obtention d'ions fortement chargés de gaz rare.

1/2



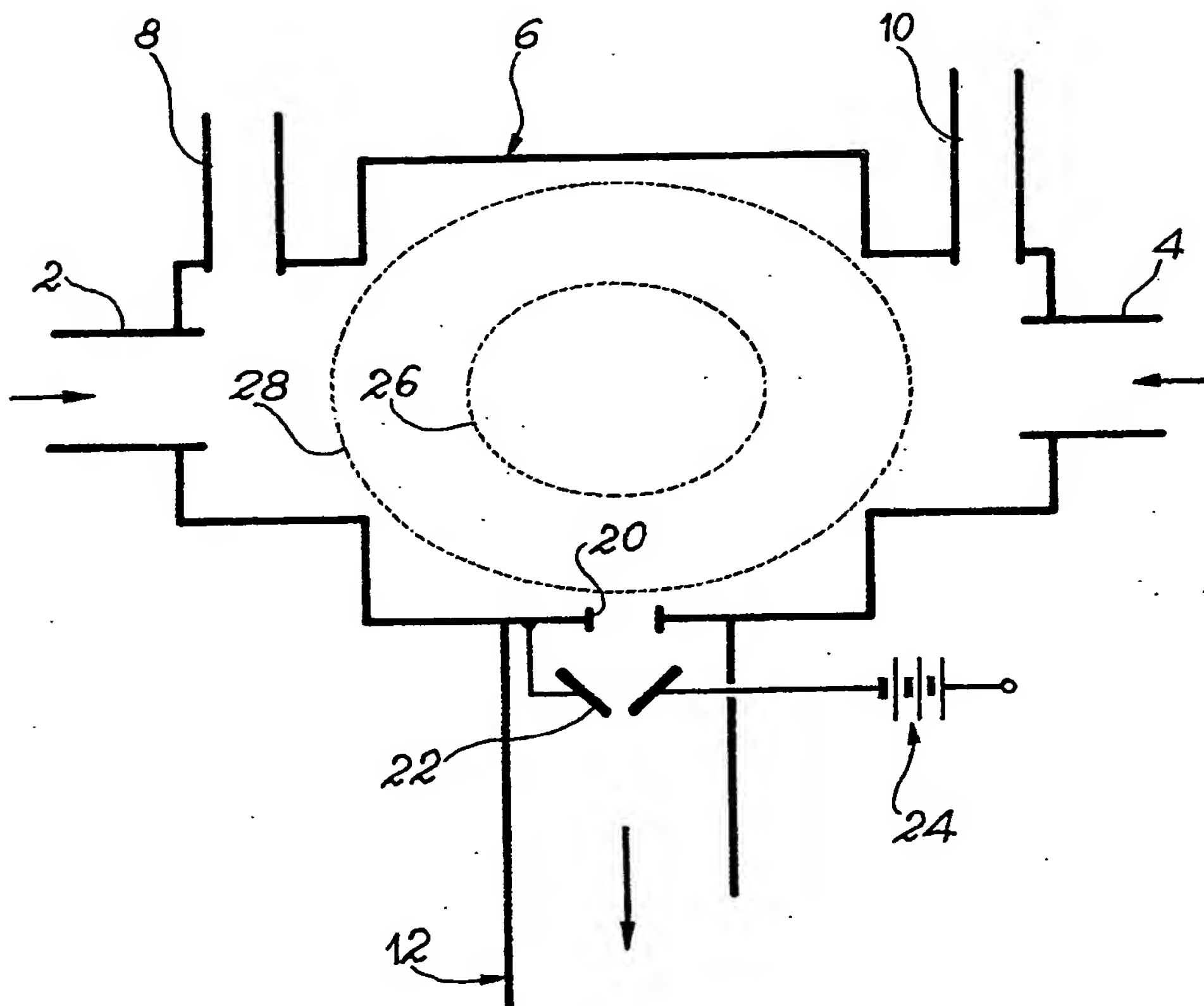


FIG. 2

THIS PAGE BLANK (USPTO)